

平成 29 年 4 月 20 日

日本原子力学会「断層の活動性と工学的なリスク評価」調査専門委員会  
断層変位の土木構造物に対する影響評価の検討結果について（報告）

## 1. 目的

活断層の活動等に伴って生じる断層変位も外部ハザードの一つと捉え、断層変位が屋外重要土木構造物等に与える影響に関する工学的な評価手法について、調査検討を行う。

## 2. 期間

平成 26 年 10 月～平成 29 年 3 月

## 3. 検討の進め方

調査専門委員会（主査：奈良林 直 北海道大学）のもと、土木構造物への影響評価に係る既往の研究成果や知見を参照しながら、関連する専門家の協働により検討を進めた。

調査専門委員会において、土木構造物に係る検討を担当した委員等は以下のとおり。

委員	蛭沢 勝三	東京都市大学/（一財）電力中央研究所
委員	岡本 孝司	東京大学
委員	小倉 和巳	関西電力（株）
委員	亀田 弘行	京都大学名誉教授/（一財）電力中央研究所
委員	京谷 孝史	東北大学
委員	小長井 一男	横浜国立大学
委員	酒井 俊朗	（一財）電力中央研究所
委員	柴田 碧	東京大学名誉教授
委員	鈴木 義和	（一社）原子力安全推進協会
委員	谷 和夫	東京海洋大学
委員	松村 和雄	北陸電力（株）
常時出席者	小林 正典	東北電力（株）
旧委員	小早川 博亮	（一財）電力中央研究所（2016 年 10 月まで）
旧委員	中村 孝之	北陸電力（株）（2016 年 11 月まで）
旧委員	原口 和靖	関西電力（株）（2016 年 6 月まで）

調査専門委員会における検討の素材を提供するために WG（リーダー：松村和雄、旧リーダー：中村孝之）を組織し、技術協力者の参画も仰いだ。

<WG の活動実績>

H27.09.08 第1回 WG

H27.10.13 第2回 WG

H27.11.04 第3回 WG

H27.11.27 第4回 WG

H27.12.18 第5回 WG

H28.02.04 第6回 WG

H28.06.23 第7回 WG

H28.07.22 第8回 WG

検討に際しては、土木学会原子力土木委員会との連携も図った。原子力土木委員会との連携については以下の通り。

H27.11.10 協力要請（地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会）（以下「小委員会」）

H28.03.30 概要報告（小委員会）

H28.07.27 内容紹介（公開講演会）

H29.04.20 終了報告（小委員会）

4. 対象構造物

海水ポンプ基礎および海水管ダクト等の屋外重要土木構造物。

5. 活動成果

報告書の「II.5 土木構造物に対する影響評価」として取りまとめた。具体的な内容は、以下の URL を参照。

[http://www.aesj.net/document/com-i\\_dansou20170404\\_2.pdf](http://www.aesj.net/document/com-i_dansou20170404_2.pdf)

以 上

日本原子力学会  
「断層の活動性と工学的なリスク評価」  
調査専門委員会

土木構造物に対する影響評価について

■目次

1. 対象構造物および評価方針
2. 入力条件
3. 解析手法, 解析モデル
4. 許容限界
5. 不確かさの取扱い
6. 耐変位裕度評価
7. 今後の課題

平成29年4月20日

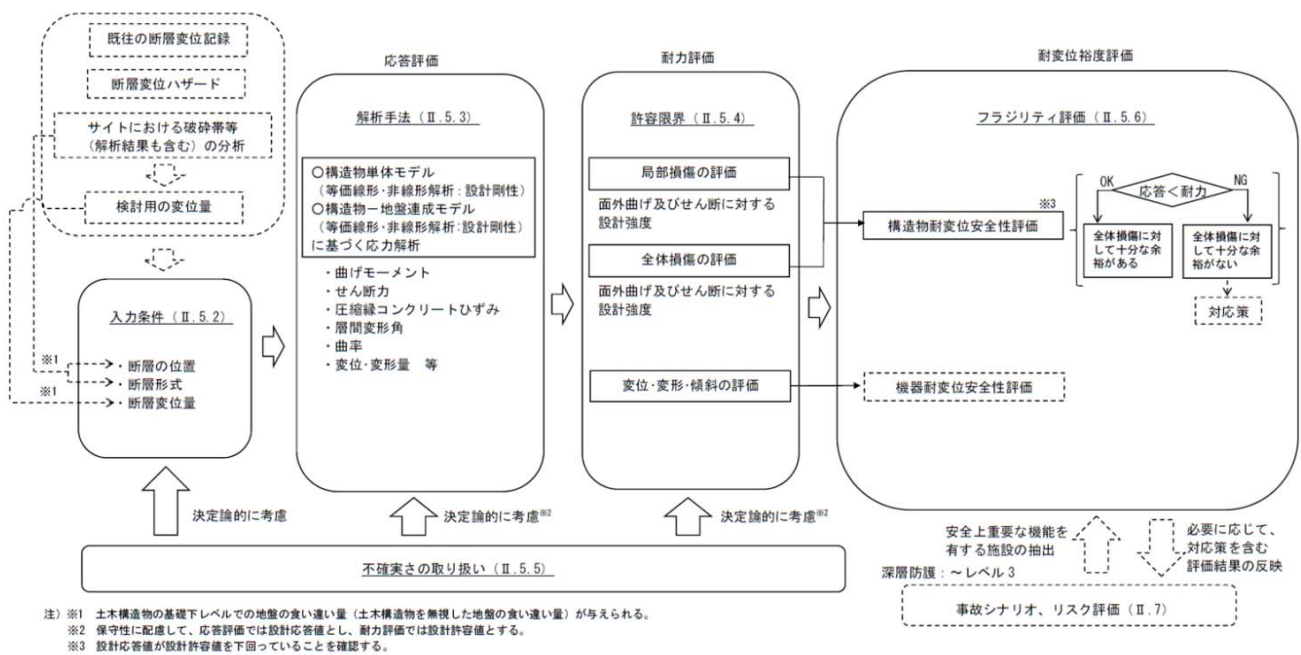
3

## 1. 対象構造物および評価方針

- 対象構造物は、発電用原子炉施設のうち屋外重要土木構造物。
- 防潮堤等の津波防護施設についても本章を参照可能。
- 断層変位発生後の荷重条件(常時荷重に加え, 断層変位による荷重, 地震時荷重等)のもと, 間接支持機能や通水機能等の要求される機能を保持すること, 構造物としての限界状態(例えば限界となる変形)に対して余裕を有していることを確認する。
- 評価フローとして, 「設計上の許容限界に対する裕度評価」, 「終局限界に対する裕度評価」, 「確率論的リスク評価(PRA)／フラジリティ評価」の3つを提示。
- 評価の際には, 構造物と地盤の挙動を考察し, 構造物の損傷過程及び破壊モードを把握しておくことが重要。

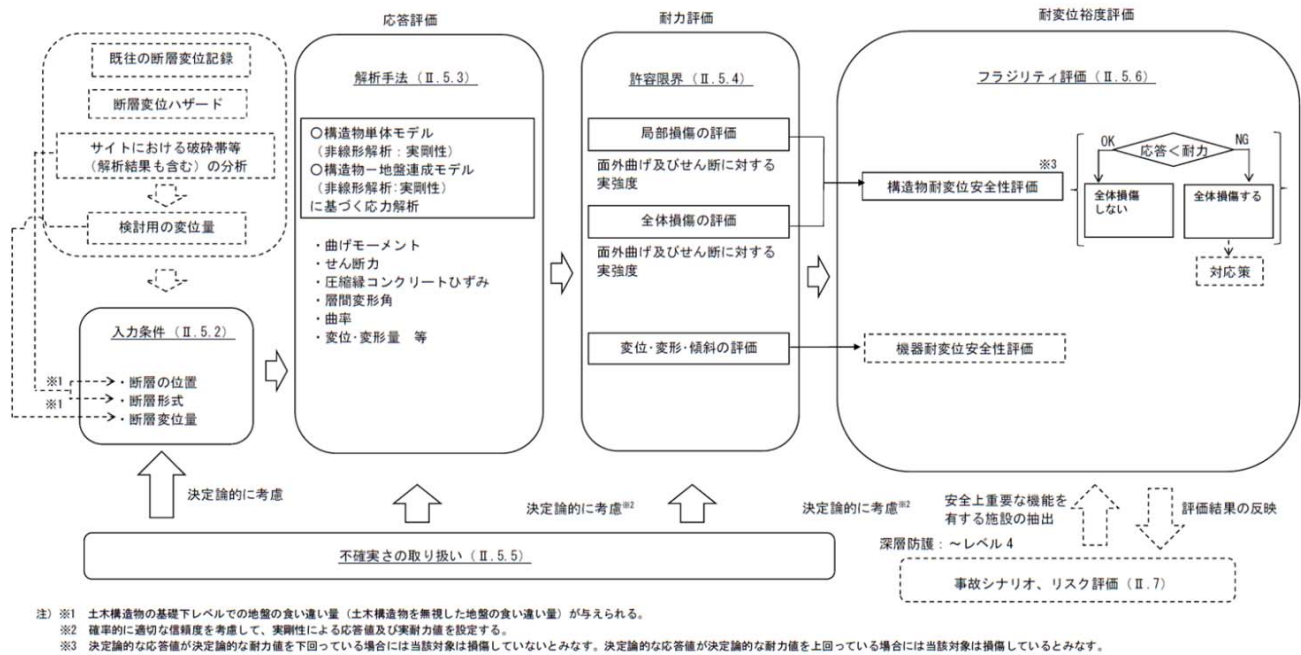
4

# 1. 対象構造物および評価方針(評価フロー) [1/3]



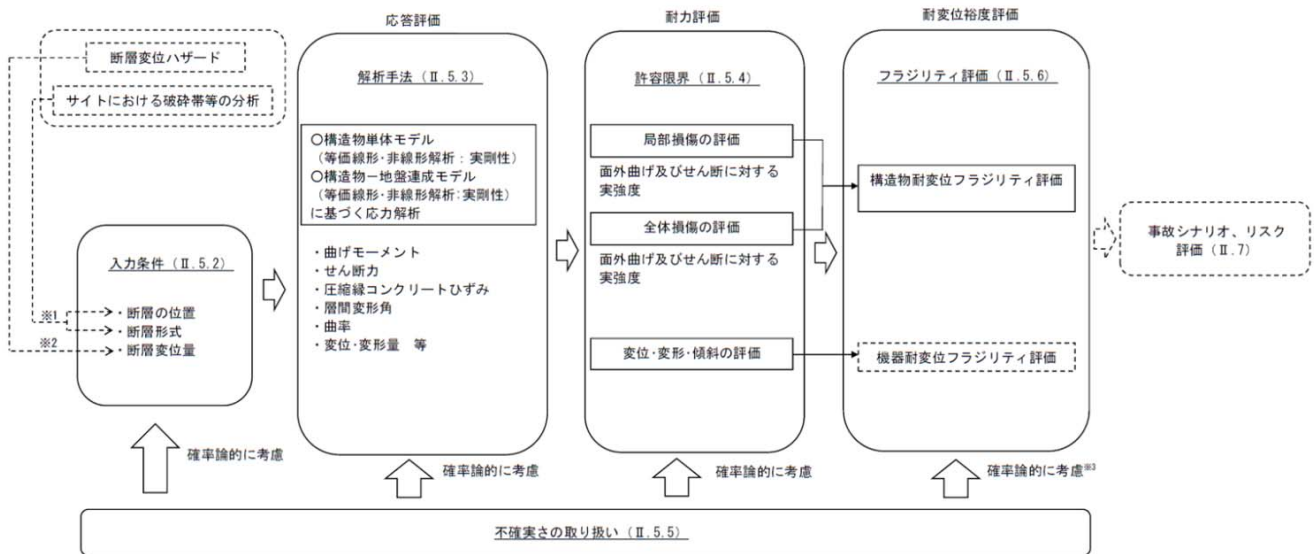
【「①設計上の許容限界に対する裕度評価」の評価フロー】

# 1. 対象構造物および評価方針(評価フロー) [2/3]



【「②終局限界に対する裕度評価」の評価フロー】

# 1. 対象構造物および評価方針(評価フロー)[3/3]

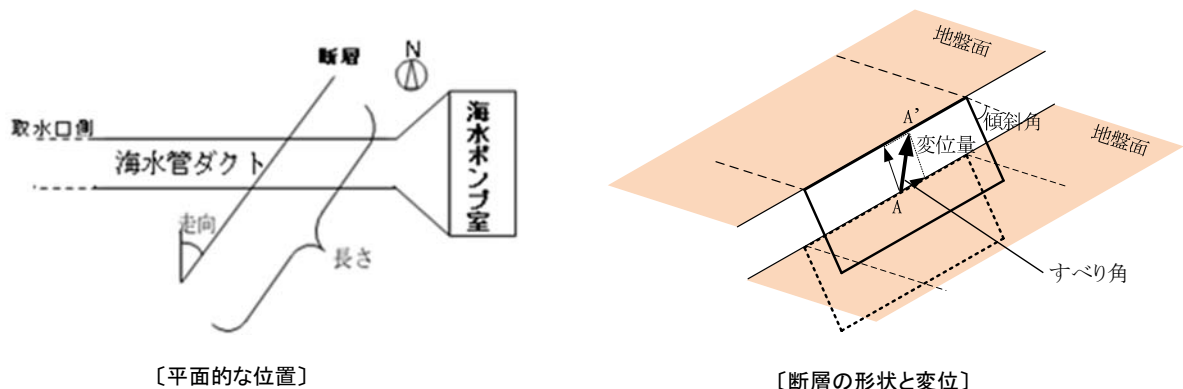


注) ※1 土木構造物の基礎下レベルでの地盤の食い違い量(土木構造物を無視した地盤の食い違い量)が与えられる。ただし、断層の位置および断層形式の設定に際して不確かさが伴う場合は、土木構造物に与える影響を考慮して、仮想的断層の位置及び断層形式を複数重み付けて評価する。  
 ※2 断層変位ハザード評価結果に基づく。  
 ※3 入力条件、応答評価及び耐力評価に係る偶発的不確かさは fragility 曲線の  $\beta r$  として考慮し、認識論的不確かさは fragility 曲線の  $\beta u$  として考慮することを基本とする。ただし、条件付きの CDF 評価においては、適切な信頼度を考慮した決定論的な fragility 評価 (HOLF 等でのクリフエッジ評価) で代替してもよい。

【「③確率論的リスク評価(PRA)」の評価フロー】

## 2. 入力条件

- 入力する断層変位は、構造物底面において設定された検討用の断層変位量  $\delta s$  を踏まえ、解析モデルに入力する変位量として適切な入力位置や大きさを検討したものとする。
- 入力は、構造物と周辺地盤の相互作用を考慮する。



【入力として断層変位を考慮する場合に必要なパラメータ】

### 3. 解析手法, 解析モデル

#### <基本方針>

- ハザード側で設定された構造物周辺岩盤の変位を, 構造物と周辺地盤の相互作用を考慮して構造物に作用させることを基本とする。
- 解析モデルは, 断層面や断層変位方向と対象構造物の位置関係, 周辺地盤の不整形や不均質が対象構造物に及ぼす影響, 対象構造物に近接する構造物から受ける影響などに配慮したものとする。
- なお, 現時点では断層変位による局所的な損傷の全体系への影響など, 未解明な部分も多く含まれているため, 適用に際しては「4. 許容限界」における裕度の考慮も含め, 不確かさを適切に考慮する。

9

### 3. 解析手法, 解析モデル

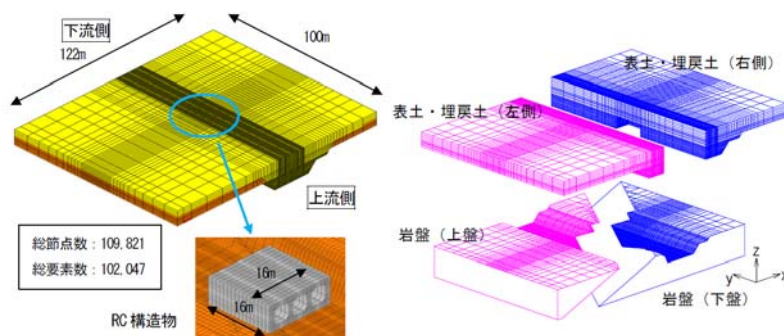
#### <解析手法, 解析モデルの例示>

##### [構造物ーばねモデル]

- ・ 地盤と構造物との相互作用を比較的単純に評価できる場合 等

##### [構造物ー地盤連成モデル]

- ・ 周辺地盤の不均質性の影響や周辺構造物の影響など, 構造物と地盤の相互作用の影響を無視できない場合 等



【構造物ー地盤連成モデルの例※】

※樋口俊一, 米澤健次, 穴吹拓也, 江尻讓嗣: 非線形三次元FEM解析による断層上の地中RC構造物の損傷評価, 大林組技術研究所報, No.79, 2015

10

### 3. 解析手法, 解析モデル

#### <解析手順と留意点>

- 断層変位の作用は, 地盤と構造物間の剥離やすべりなど, 非線形の応答を伴うため, 断層変位の入力は一般的に増分法で行う。
- 変位の増加に伴い, 地盤の局部破壊, 対象構造物と周面地盤や隣接構造物との衝突や剥離・すべりなどの相互作用, 構造物の局部損傷などが生じるので, それらの挙動を適切に再現していることを確認する必要がある。

#### <解析結果(応答値)の出力>

- 構造物の要求性能を満たすことを確認するために必要となる応答値(応力, 層間変形角, ひずみ等)を出力する。
- また, 機器・配管系の評価に必要な応答値(傾斜, 変位等)や接続部の評価に必要な応答値(相対変位等)についても出力する。

11

### 4. 許容限界

#### <許容限界の設定, 目安等>

- 対象とする土木構造物の要求性能に応じて適切に設定。
  - 補機冷却水の通水機能  
⇒断層変位に対して構造物が崩壊しない。(通水断面の確保)
  - 機器・配管等の支持機能  
⇒断層変位に対して構造物が崩壊せず, 機器・配管の機能維持のための与条件を満足する。(支持機能の確保)
- 許容限界の設定は, 「コンクリート標準示方書」や「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル」等を基本とし, 必要に応じて過去の断層変位に対する構造物の損傷事例※を参考に行う。

※例えば, 「断層変位評価小委員会 研究報告書(土木学会原子力土木委員会 2015年7月)」

12



## 4. 許容限界

### <許容限界の目安値に関する調査結果>

損傷モード	状態	①設計上の許容限界	②終局限界
面外曲げ	曲げ終局	限界層間変形角評価式による限界層間変形角に対して適切な安全係数を考慮 ただし、 各種強度：設計用値	限界層間変形角評価式による限界層間変形角 ただし、 各種強度：実力値
せん断	せん断破壊	腹部コンクリートの斜め圧縮破壊耐力及び棒部材式又はディープビーム式によるせん断耐力に対して適切な安全係数を考慮 ただし、 各種強度：設計用値	腹部コンクリートの斜め圧縮破壊耐力及び棒部材式又はディープビーム式によるせん断耐力  ただし、 各種強度：実力値

損傷モード	状態	③確率論的リスク評価(PRA)／フラジリティ評価	
面外曲げ	曲げ終局	平均値：各目安値に対する評価式	
せん断	せん断破壊	不確かさ：偶然的及び認識論的不確かさを適切に考慮する	

13

## 5. 不確かさの取り扱い

- 断層変位に対する評価で考慮すべき不確かさ要因は、地震動に対するものとは異なる観点で設定する必要がある。
- 不確かさ要因の一つとして断層変位の発生位置が挙げられるが、それを直接評価することは困難。
- そのため、リスク評価の際は、想定した位置で変位が発生した場合の条件付確率として評価することが現実的。

## 6. 耐変位裕度評価(耐変位安全性評価, フラジリティ評価)

- 評価は、JEAC4601-2008や地震PRA標準等を参考に行う。

14



## 7. 今後の課題

- 断層変位に関する研究は他の自然現象と比較すると経験・実績が浅い
- そのため、種々の課題に取り組み、影響評価方法のより一層の高度化に取り組む必要がある。

### (主な課題)

- ・地震動と断層変位の重畳
- ・断層変位に対する破壊モード及び限界値の整備
- ・不確かさの考慮
- ・数値解析手法の妥当性確認と結果の検証 等

以 上